

## Thin layer magnetic field sensitive sensor apparatus with magnet layer system

Patent Number: DE19720197  
Publication date: 1998-11-19  
Inventor(s): VAN DEN BERG HUGO DR (DE)  
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)  
Requested Patent: DE19720197  
Application Number: DE19971020197 19970514  
Priority Number(s): DE19971020197 19970514  
IPC Classification: H01L43/08 ; G01R33/09  
EC Classification:  
Equivalents:

### Abstract

The apparatus has an increased magnetoresistive effect with a spin dependent electron control of majority and minority electrons. The system has a weakly magnetic measurement layer and a bias layer system which is relatively more magnetic. A decoupling layer is provided between the at least one measurement layer and the at least one bias layer system. The bias layer system (16) has at least one reflector layer part which is dependent on spin with respect to the electrons. The reflector layer part has at least one boundary surface which reflects the electrons in dependence on their spin. The reflector layer part also has regions in which there is an at least continuous diffuse scattering on non-reflected electrons. The reflector layer part has a spin dependent reflecting reflector layer (22) within the at least one bias layer system (16).

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑩ DE 197 20 197 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 43/08  
G 01 R 33/09

②1 Aktenzeichen: 197 20 197.0  
②2 Anmeldetag: 14. 5. 97  
④3 Offenlegungstag: 19. 11. 98

DE 197 20 197 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
van den Berg, Hugo, Dr., 91074 Herzogenaurach, DE

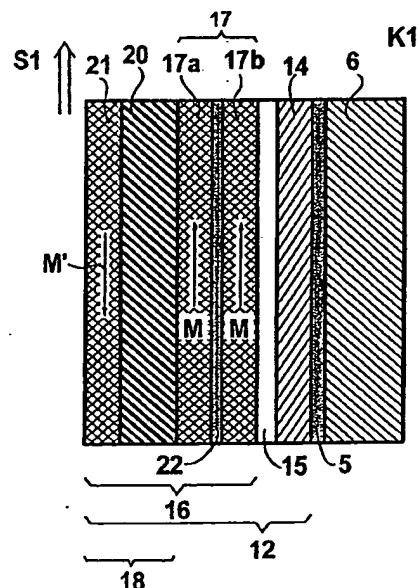
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 27 495 A1  
EP 5 48 841 A1  
US-Z.: DIENY, B. et al.: In: Appl.Phys.Lett.,  
1992, Vol. 61, No. 17, S. 2111-2113;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem einen erhöhten magnetoresistiven Effekt zeigenden Magnetschichtensystem

⑤7 Der Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors enthält ein Mehrschichtensystem (12), mit erhöhtem magnetoresistiven Effekt (GMR), das eine weichmagnetische Meßschicht (14), ein vergleichsweise magnetisch härteres Biasschichtsystem (16) sowie eine zwischen der Meßschicht und dem Biasschichtsystem befindliche Entkopplungsschicht (15) aufweist. Zur Erhöhung des Signalwertes des Sensors enthält das Biasschichtsystem (16) einen Reflektorschichtteil mit einer Elektronen spinabhängig reflektierenden Reflektorschicht (22) und Bereiche zu einer diffusen Streuung nicht-reflektierter Elektronen.



DE 197 20 197 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem magnetoresistiven Mehrschichtensystem, das einen erhöhten magnetoresistiven Effekt mit einer Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen zeigt und zumindest

- eine weichmagnetische Meßschicht,
- ein vergleichsweise magnetisch härteres Biasschichtsystem sowie
- eine zwischen der wenigstens einen Meßschicht und dem wenigstens einen Biasschichtsystem befindliche Entkopplungsschicht aufweist.

Ein entsprechender Dünnschichtenaufbau geht aus der WO94/15223 hervor.

In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe eines in das Material eindringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt man anisotropen Magnetowiderstand "AMR" oder anisotropen magnetoresistiven Effekt. Er beruht physikalisch auf unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit unterschiedlichem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden deshalb als Majoritäts- bzw. Minoritäts(leitungs)elektronen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Stromrichtung kann dann einige wenige Prozent des normalen isotropen (= ohmschen) Widerstandes betragen.

Ferner sind seit einiger Zeit magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In solchen in Dünnschichttechnik zu erstellenden Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter giant-magnetoresistiver Effekt oder Giant-Magnetowiderstand "GMR" auftreten (vgl. z. B. EP 0 483 373 A). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten, insbesondere wenn diese Schichten aus Legierungen bestehen. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich größer sein als der anisotrope Effekt AMR und Werte beispielsweise bis zu 70% des normalen isotropen Widerstandes annehmen. Im allgemeinen werden Magnetowiderstände mit Werten, die größer als 3% des normalen isotropen Widerstandes betragen, als Giant-Magnetowiderstände bezeichnet. In einen GMR-Effekt zeigenden, nachfolgend allgemein als "Mehrschichtensysteme mit erhöhtem magnetoresistiven Effekt" bezeichneten Schichtanordnungen sind benachbarte metallische Schichten zunächst entgegengesetzt magnetisiert, wobei bei speziellen Ausführungsformen eine Biasschicht bzw. ein Biasschichtsystem magnetisch härter als eine weichmagnetische Meßschicht ist. Unter Einfluß eines äußeren Magnetfeldes, d. h. einer in der Schichtebene ausgeprägten Komponente dieses Feldes, kann sich dann die anfängliche antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungen in eine parallele umwandeln. Bei entsprechenden Magnetfeldsensoren wird diese Tatsache ausgenutzt.

Bei einem aus der eingangs genannten WO-Schrift entnehmbaren Dünnschichtenaufbau weist dessen einen erhöhten magnetoresistiven Effekt zeigendes Mehrschichtensystem ein magnetisches Biasschichtsystem mit einem Schichtteil auf, der einen sogenannten künstlichen Antiferromagneten bildet. Hierzu enthält das Biasschichtsystem eine Biasschicht, an welche über eine Kopplungsschicht antiferromagnetisch eine weitere Magnetschicht angekoppelt ist. Damit läßt sich verhindern, daß sich ein Teil des Magnetflusses der Biasschicht über die Meßschicht schließt. Ein entsprechender künstlicher Antiferromagnet ist nach außen hin magnetisch weitgehend neutral, d. h. sein Magnetfeld schließt sich praktisch ganz zwischen der Biasschicht und der zusätzlichen Magnetschicht. Damit ergibt sich der Vorteil einer Stabilisierung der Magnetisierung der Biasschicht auch bei stärkeren äußeren Magnetfeldern.

Zur Erhöhung der Signalstärke eines GMR-Mehrschichtensystems ist es ferner bekannt, eine sich periodisch wiederholende Schichtenfolge vorzusehen (vgl. z. B. DE 22 32 244 A). Denn die Signalstärke steigt mit der Anzahl der Perioden an gleichen Schichtpaketen asymptotisch bis zu einem Maximalwert monoton an. Die Anzahl der Perioden in einem entsprechenden Dünnschichtenaufbau kann ohne weiteres 100 oder mehr betragen.

Ferner ist es auch bekannt, auf die Außenflächen eines dreilagigen GMR-Mehrschichtensystems mit zwei magnetischen Schichten und einer dazwischenliegenden nicht-magnetischen Schicht jeweils eine perfekt reflektierende Schicht aufzubringen, um so die Signalstärke zu erhöhen (vgl. "Phys. Rev. B", Vol. 42, No. 13, 1. Nov. 1990, Seiten 8110 bis 8120).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den Dünnschichtenaufbau mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, daß eine hohe Signalstärke bei gleichzeitig verhältnismäßig geringer Anzahl von einzelnen Schichten zu gewährleisten ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das wenigstens eine Biasschichtsystem mindestens einen bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteil enthält, welcher mindestens eine die Elektronen in Abhängigkeit von ihrem Spin reflektierende Grenzfläche sowie Bereiche besitzt, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von nicht-reflektierten Elektronen erfolgt, wobei der Reflektorschichtteil eine spinabhängig reflektierende Reflektorschicht innerhalb des wenigstens einen Biasschichtsystems aufweist.

Es wurde nämlich erkannt, daß mit einer derartigen spinpolarisationsabhängigen Reflexion auch mit verhältnismäßig wenigen Schichten ein hoher GMR-Signalpegel zu erreichen ist. Darüber hinaus ist die Gesamtdicke des Schichtenaufbaus verhältnismäßig gering zu halten, so daß unerwünschte entmagnetisierende Effekte nur eine geringere Rolle spielen. Diese Tatsache führt bei Einsatz des erfindungsgemäßen Schichtenaufbaus bei Winkeldetektoren zu einer entspre-

chend höheren Isotropie, bei Feldsensoren zu einer höheren Empfindlichkeit und bei Schwellwertdetektoren zu steileren Flanken.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbaus gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend noch weiter anhand von speziellen Ausführungsbeispielen erläutert, wobei auf die Zeichnung Bezug genommen wird. Dabei zeigen

die Fig. 1 und 2 schematisch einen Dünnschichtenaufbau mit verschiedenen Reflexionskoeffizienten für Elektronen unterschiedlicher Spinpolarität,

sowie

die Fig. 3 und 4 schematisch einen erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbau mit einem als künstlicher Antiferromagnet wirkenden Schichtteil

sowie

die Fig. 5 bis 7 Diagramme mit Kurven von Zustandsdichten von Elektronen unterschiedlicher Spinpolarität für verschiedene Materialien.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Die prinzipielle Wirkung einer spinabhängigen (polarisationsabhängigen) Reflexion bei einem erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbau sei nachfolgend anhand der Fig. 1 und 2 verdeutlicht. In diesen Figuren sind der Dünnschichtenaufbau allgemein mit 2, ein erhöhter magnetoresistiver Effekt, d. h. einen GMR-Effekt zeigendes Mehrschichtensystem allgemein mit 3 und ein spinunabhängiger Reflektorschichtteil des Dünnschichtenaufbaus mit 4 bezeichnet. Das Mehrschichtensystem ist an sich bekannt und in den Figuren nicht näher ausgeführt. Ein nachfolgend allgemein als Spinreflektor bezeichneter, spinabhängig reflektierender Schichtteil des Dünnschichtenaufbaus enthält wenigstens eine Schicht, die zu einer Diskriminierung der Majoritätselektronen von den Minoritätselektronen mindestens eine Grenzfläche aufweist, an der Elektronen von einem der beiden Typen reflektiert werden. Außerdem sind in dem Spinreflektor Bereiche vorhanden, in denen die in den Spinreflektor eingetretenen, nicht-reflektierten Elektronen zumindest weitgehend diffus gestreut werden. Die Funktion der spinabhängigen Reflexion und der Streuung eines erfindungsgemäß gestalteten Spinreflektors kann jeweils auch wenigstens zu einem überwiegenden Teil von getrennten Schichten ausgebaut werden. Dementsprechend enthält der den Fig. 1 und 2 zugrundegelegte Dünnschichtenaufbau 2 eine spinabhängig reflektierende Reflektorschicht 5 und eine Elektronenstreuerschicht 6 eines Spinreflektors 7. Darüber hinaus sind mit M die Magnetisierung des Mehrschichtensystems 3, mit  $d_m$  dessen Dicke, mit  $d_r$  die Dicke der Reflektorschicht 5, mit  $d_{abs}$  die Dicke der Elektronenstreuerschicht 6, mit K1 ein erster Spinkanal (Fig. 1) für Elektronen einer ersten Spinrichtung S1 sowie mit K2 ein zweiter Spinkanal (Fig. 2) für die Elektronen mit zu S1 entgegengesetzter Spinrichtung S2 bezeichnet. Ferner gilt für die Gesamtdicke  $d_s$  des Spinreflektors bzw. Reflektorschichtteils 7 aus Reflektorschicht 5 und Elektronenstreuerschicht 6:  $d_s = d_r + d_{abs}$ . Dabei kann jede in den Figuren dargestellte Schicht im Prinzip aus einer beliebigen Anzahl von aufeinander gestapelten Schichten bestehen. Die Schichtdicke  $d_r$  der Reflektorschicht 5 liegt vorzugsweise zwischen 0,15 und 1 nm.

Wie aus den Fig. 1 und 2 ferner hervorgeht, ist das Mehrschichtensystem 3 an einer Flachseite von dem perfekten, spinunabhängigen Reflektorschichtteil 4 und an der gegenüberliegenden Seite von dem aus Reflektorschicht 5 und Elektronenstreuerschicht 6 zusammengesetzten Spinreflektor 7 abgedeckt. Dabei wird berücksichtigt, daß die Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätsladungsträgern (Majoritäts- bzw. Minoritätselektronen) in magnetischen Schichten der grundlegende Mechanismus für den GMR-Effekt ist. Diese Spinabhängigkeit, die für den GMR-Effekt charakteristisch ist, wird in bekannter Weise durch eine Größe  $\alpha$ , definiert durch das Verhältnis  $\rho^-/\rho^+$ , zum Ausdruck gebracht (vgl. z. B. das Buch "Ferromagnetic Materials", Vol. 3, Ed.: E. P. Wohlfarth, North-Holland Publ. Co., Amsterdam u. a., 1982, Seiten 747 bis 804, insbesondere Seiten 758 bis 762). Dabei sind  $\rho^-$  und  $\rho^+$  die spezifischen Widerstände von Minoritäts- bzw. Majoritätselektronen. Es sei angenommen, daß  $\alpha > 1$  ist; d. h. die Minoritätselektronen haben dann den höchsten spezifischen Bulkwiderstand. Auch Grenzflächenstreuungen können zu einem effektiven  $\alpha_{eff}$  beitragen oder dieses bestimmen. In den Fig. 1 und 2 sind zwei Spinkanäle K1 und K2 definiert, wobei Kanal K1 den Majoritätselektronen bei der in den Figuren gezeigten Magnetisierung M zugeordnet ist. Im Idealfall werden an dem Spinreflektor 7 die Elektronen von Kanal K1 vollständig reflektiert und von Kanal K2 ungehindert durchgelassen. Dieser Sachverhalt soll in den Fig. 1 und 2 durch eine unterschiedliche Schraffur der Schicht 5 veranschaulicht sein. Bei dem den Fig. 1 und 2 zugrundegelegten Ausführungsbeispiel eines Spinreflektors 7 ist an dessen Reflektorschicht 5 an der dem Mehrschichtensystem 3 abgewandten Flachseite eine hochresistive Schicht angeordnet, die in den Figuren als Elektronenstreuerschicht 6 bezeichnet ist. Diese Elektronenstreuung braucht dabei nicht notwendigerweise spinabhängig zu sein. Wenigstens in dieser Elektronenstreuerschicht sind die zu einem Spinreflektor gehörenden Bereiche vorhanden, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von Elektronen erfolgt, die nicht von der Reflektorschicht 5 reflektiert wurden. Die Elektronenstreuerschicht 6 kann z. B. aus einer nicht-magnetischen Metallschicht bestehen, die zur Erhöhung der Resistivität mit weiteren Elementen legiert worden ist. Die entsprechende Legierungsschicht kann dabei zur weiteren Erhöhung der Resistivität auch amorphisiert werden. Die Reflektorschicht 5 des spinabhängigen Reflektorschichtteils sowie dessen Elektronenstreuerschicht 6 können im Prinzip auch mit einer einzelnen Schicht realisiert werden, indem man z. B. eine diffuse Streuung an Streuzentren ausnutzt, die an einer beliebigen Stelle der Schicht vorhanden sein können.

Das den erfindungsgemäßen Maßnahmen zugrundeliegenden Prinzips wird nachfolgend noch näher erläutert, wobei die folgenden Bezeichnungen gewählt sind, und zwar

" $\rho$ " für den spezifischen Widerstand,

"R" für den Quadratwiderstand,

"p" für die Streuzentrenkonzentration,

"P" für die Flächenstreuzentrenkonzentration und

"d" für die Schichtdicke.

Dabei bedeuten die liefergestellten Indizes an den jeweiligen Größen, daß diese sich auf die folgenden Teile eines Dünnschichtenaufbaus beziehen sollen, nämlich

"1" auf den Spinkanal K1,

"2" auf den Spinkanal K2,  
 "m" auf eine Meßschicht des Magnetschichtsystems,  
 "s" auf die Reflektorschicht des Spinreflektors,  
 "abs" auf die Elektronenstreuungsschicht des Spinreflektors,  
 5 "t" auf das Schichtensystem des gesamten Spinreflektors,  
 "b" auf eine Biasschicht des Magnetschichtsystems und  
 "e" auf eine Entkopplungsschicht des Magnetschichtsystems.

Sich auf die Minoritätselektronen und auf die Majoritätselektronen beziehende Größen sind durch ein hochgestelltes  
 "-" bzw. "+"-Zeichen gekennzeichnet.

10 Es sei zunächst angenommen, daß die Elektronenstreuungsschicht 6 und die Reflektorschicht 5 sehr dünn ausgebildet sind  
 und diese Teile eine Oberflächenstreuungstendichte  $P_{abs}$  haben. Weiter sei der Reflektor 4 elektrisch isolierend. Die Bul-  
 kresistivität der Majoritätselektronen in dem Mehrschichtensystem 3 ist proportional zur Streuzendendichte  $p^+$  und  $p^+ =$   
 $C^+ p^+$ . Ein allgemein durch den Quotienten  $p/d$  definierter Quadratwiderstand, der im Fall von Spinkanal K1 mit  $R_1$  be-  
 15 zeichnet ist, ergibt sich bei einer Parallelschaltung von Elektronenstreuungsschicht und Mehrschichtensystem und ist für die-  
 sen einfachen Fall:

$$R_1 = C^+ p^+ / d_m = \rho^+ / d_m \quad (1).$$

Für Spinkanal K2 gilt:

$$20 \quad R_2 = C^-(d_m \rho^- + P_{abs}) / d_m = (\rho^- + C P_{abs} / d_m) / d_m \quad (2).$$

Die effektive Größe  $\alpha_{eff} = R_2 / R_1$  von diesem System ist dann:

$$25 \quad \alpha_{eff} = \alpha + C^- P_{abs} / (\rho^+ d_m) = \alpha (1 + C^- P_{abs} / (\rho^+ d_m)) \quad (3)$$

und nimmt um einen Faktor  $1 + C^- P_{abs} / (\rho^+ d_m) > 1$  zu. Bei kleiner Dicke des Mehrschichtensystems ist ein deutlicher Ge-  
 winn zu erzielen.

Im allgemeinen sind  $d_s$  und  $d_{abs}$  nicht gleich null. Setzen wir alle  $C$ 's gleich und  $d_s$  null, dann müssen die obenstehen-  
 30 den Ausdrücke (1) und (2) durch die nachstehenden ersetzt werden:

$$35 \quad R_1 = \frac{\rho^+ / d_m}{1 + \frac{\rho^+ d_t}{|\rho| d_m}}$$

$$40 \quad R_2 = \rho^- / d_m + \left( \frac{(|\rho| - \rho^-)}{d_m + d_t} - \frac{\rho^-}{d_m} \right) \frac{d_t}{d_m + d_t}$$

Bei einem kleinem  $d_t$  und einem endlichem Produkt  $d_t \cdot |\rho|$  ergeben sich wieder Gleichungen (1) und (2). Nimmt man  
 $d_t \cdot |\rho|$  als konstant an, dann klingt  $R_2$  mit wachsendem  $d_t$  ab, d. h.  $\alpha_{eff}$  nimmt ab. Für sehr großes  $d_t$  ist die Näherung für  
 45  $R_2$  nicht gültig.

Aus den beiden obenstehenden Gleichungen ergibt sich der folgende Verbesserungsfaktor  $G_\alpha$  für  $\alpha$ :

$$50 \quad G_\alpha = \left( 1 + \frac{d_t / d_m}{|\rho| \rho^+} \right)^*$$

$$55 \quad \left( 1 + \left( \frac{|\rho| \rho^+}{\alpha} - 2 - d_t / d_m \right) \frac{d_t / d_m}{(1 + d_t / d_m)^2} \right)$$

( $*$  = Multiplikationszeichen)

60 Dabei ergeben sich besonders hohe Verbesserungen für die Dickenverhältnisse  $d_t / d_m$  bei einem Wert von  $\approx 1$ .

Bei der in den Fig. 3 und 4 wiedergegebenen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Dünnschichtenaufbaus 10  
 weist dessen Mehrschichtensystem 12 eine weichmagnetische Meßschicht 14 auf, die über eine nicht-magnetische Ent-  
 kopplungsschicht 15 von einem Biasschichtensystem 16 magnetisch entkoppelt ist. Dieses Biasschichtensystem setzt sich da-  
 65 bei zumindest aus einer vergleichsweise magnetisch härteren Biasschicht 17 sowie an deren der Entkopplungsschicht 15  
 abgewandten Seite aus einem Schichtteil 18 zusammen, der einen sogenannten künstlichen Antiferromagneten bildet  
 (vgl. die eingangs genannte WO-Schrift). Der Schichtteil 18 enthält deshalb mindestens eine nicht-magnetische Kopp-  
 lungsschicht 20, welche die Biasschicht 17 von einer weiteren Magnetschicht 21 räumlich trennt. Diese weitere Magnet-

schicht 21 weist eine gegenüber der Biasschicht 17 entgegengesetzte Magnetisierung  $M'$  auf.

Der erfindungsgemäße Dünnschichtenaufbau 10 soll einen anhand der Fig. 1 und 2 erläuterten spinabhängigen Reflektor, einen sogenannten Spinreflektor aufweisen, der wenigstens eine spinabhängige Reflektorschicht 22 und Bereiche oder Zonen aufweist, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von nicht-reflektierten Elektronen erfolgt.

In dem als künstlicher Antiferromagnet wirkenden Schichtteil 18 ist die zweite Magnetschicht 21 zur Signalerzeugung nicht unbedingt erforderlich; d. h., diese Schicht kann gegebenenfalls aus dem Signalweg isoliert werden. D. h., Elektronen aus der Meßschicht 14 oder der Biasschicht 17 können dann diese Schicht 21 nicht erreichen. Es ist deshalb prinzipiell möglich, einen spinabhängigen Reflektor an einer der beiden Seiten der Kopplungsschicht 20 vorzusehen, ohne daß die Kopplung zerstört wird. Für eine entsprechende Ausführungsform ist dann eine Kopplungsschicht-Magnetschicht-Kombination zu wählen, die sowohl für die Minoritätselektronen wie auch für die Majoritätselektronen einen großen Potentialsprung aufweist. Dabei sollten jedoch die beiden Potentialsprünge für die beiden Spintypen unterschiedlich groß sein. Eine mögliche Schichtkombination für die Schichten 20 und 21 sind beispielsweise Co und Rh oder Co und Ir. Ferner ist es auch möglich, die Magnetschicht 21 zu legieren, um so auf diese Weise ihre Bandstruktur zu modifizieren. Z. B. kann durch eine solche Legierung das Fermi-Niveau bezüglich des d-Bandes verschoben werden. Ein entsprechendes konkretes Ausführungsbeispiel wäre Fe mit V zu legieren.

Zur Erleichterung der Auswahl geeigneter Materialkombinationen, die sowohl die erwünschten Spinreflektoreigenschaften wie auch die antiferromagnetischen Kopplungseigenschaften aufweisen, ist erfindungsgemäß die spinabhängige Reflektorschicht 22 gemäß Fig. 3 in die Biasschicht 17 integriert. D. h., diese Biasschicht ist durch die spinabhängige Reflektorschicht 22 in zwei parallele Teilschichten 22a und 22b unterteilt. Dabei sind die Magnetisierungen  $M$  in diesen beiden Teilschichten parallel und die Kopplung über die Reflektorschicht 22 ferromagnetisch ist. Eine derartige ferromagnetische Kopplung ist vorteilhaft sogar bei nicht-perfekten Reflektorschichten 22 in den meisten Fällen verhältnismäßig einfach zu erreichen. D. h., bei der Wahl der Materialkombination hat man fast nur die Spinreflektoreigenschaften zu betrachten, so daß sich dann eine verhältnismäßig große Freiheit in der Wahl ergibt. Darüber hinaus braucht bei der Auswahl der antiferromagnetischen Kopplungsschicht 20 keine große Rücksicht auf deren magnetoresistiven Streueigenschaften genommen werden. Die Kopplungsschicht darf z. B. aus einem stark spinabhängigen Streumaterial wie Ru bestehen. Bei der erfindungsgemäßen Ausführungsform des Dünnschichtenaufbaus 10 erfolgt demnach eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von an der Reflektorschicht 22 nicht-reflektierten Elektronen mit vorbestimmtem Spin in Bereichen, die zumindest von der dem künstlichen Antiferromagneten zugewandten Teilschicht 17a der Biasschicht 17, gegebenenfalls auch von der Kopplungsschicht 20 und gegebenenfalls auch noch von der weiteren Magnetschicht 21 gebildet werden.

Wie aus den Fig. 3 und 4 ferner hervorgeht, kann entsprechend den Fig. 1 und 2 auf der der Entkopplungsschicht 15 abgewandten Seite der Meßschicht 14 noch ein weiterer Spinreflektor 7 angeordnet werden, der sich aus einer spinabhängigen Reflektorschicht 5 und einer Elektronenstreuungsschicht 6 zusammensetzt. Der Spinreflektor 7 braucht jedoch nicht unbedingt vorhanden sein oder kann durch einen spinunabhängigen Reflektor ersetzt werden.

Die Wahl des Materials zumindest für die Reflektorschicht eines Spinreflektors hängt davon ab, ob entweder Majoritäts- oder Minoritätselektronen reflektiert werden sollen. Im Prinzip möchte man an der Reflektorschicht die Elektronen des anderen Spintyps vollständig durchlassen. Hierbei spielt vor allem die Übereinstimmung zwischen den d-Bändern der beiden Materialien eine entscheidende Rolle. Anhand der Fig. 5 bis 7 sind die drei wesentlichsten Fälle von d-Bandstrukturen angedeutet. Dabei wurde eine bekannte Darstellung der d-Bandstrukturen in Form von Diagrammen unter Zuhilfenahme bekannter Parameter gewählt (vgl. z. B. das Buch "Handbook of the band structure of elemental solids" von D. A. Papaconstantopoulos, Plenum Press, New York u. a., 1986, insbesondere Seiten 73 bis 126). In den Diagrammen sind jeweils in Ordinateurichtung das Energieniveau  $E$  der Elektronen und in Abszissenrichtung die Zustandsdichten  $Z_{mi}$  und  $Z_{ma}$  aufgetragen. Das Fermi-Niveau ist jeweils mit  $E_F$  bezeichnet. Fig. 5 zeigt die typische asymmetrische d-Bandstruktur von den ferromagnetischen Elementen Ni und Co. Die Zustandsdichten der Majoritätselektronen  $M_a$  und der Minoritätselektronen  $M_i$  sind mit  $Z_{ma}$  bzw.  $Z_{mi}$  gekennzeichnet. Aus den Fig. 6 und 7 sind die d-Bandstrukturen der Elemente veranschaulicht, die gegenüber den ferromagnetischen Elementen Ni und Co eine kleinere Ordnungszahl im Periodensystem (Fig. 6) bzw. eine größere Ordnungszahl im Periodensystem (Fig. 7) aufweisen. Möchte man Minoritätselektronen  $M_i$  reflektieren, dann kämen nach Fig. 7 vor allem Elemente in Frage, die rechts von dem magnetischen Element in dem periodischen System angesiedelt sind. Im Falle von Co wäre beispielsweise Cu geeignet. Bei einer gewünschten Reflexion von Majoritätselektronen  $M_a$  sind es die Elemente links vom magnetischen Element im Periodensystem, die die geeignete 3d-Bandstruktur aufweisen. Beispielsweise sind Mn, Cr oder V geeignete Reflektormaterialien.

Zu einer Reflexion von Minoritätselektronen wird also zumindest für die Reflektorschicht eines Spinreflektors vorteilhaft ein Material gewählt, das wenigstens als Hauptbestandteil (zu mehr als 50 Atom-%) ein Element aus einer bestimmten Gruppe der Elemente des Periodensystems enthält, die im Periodensystem rechts von der Gruppe der ferromagnetischen Übergangsmetalle des Materials der benachbarten Magnetschicht liegt. Und zwar sind das die Elemente aus den – soweit vorhandenen – benachbarten Gruppen VIIIb der Übergangsmetalle oder aus einer der Gruppen Ib, IIb oder IIIa (gemäß der Darstellung in dem Buch "Anorganische Chemie" von E. Riedel, Verlag W. de Gruyter, Berlin u. a., 1988, letzte Doppelseite). Als besonders geeignet sind die Elemente Cu, Ag, Au oder Al anzusehen. Wenn z. B. Fe das ferromagnetische Material der Magnetschicht ist, kommen darüber hinaus auch noch nicht-ferromagnetische Elemente aus der Co- und Ni-Gruppe wie z. B. Rh bzw. Pd in Frage. Sollen demgegenüber Majoritätselektronen spinabhängig reflektiert werden, so wird für die Reflektorschicht vorteilhaft ein Material aus einer der Gruppen IV bis VIII der Übergangsmetalle gewählt, wobei die jeweilige Gruppe immer links von der Gruppe der benachbarten Magnetschicht liegen soll. Vorzugsweise wird eines der Elemente Mn, Cr, V oder Ti vorgesehen. Besteht die Magnetschicht z. B. aus Ni, so kommen auch noch nicht-ferromagnetische Elemente aus der Co- und Fe-Gruppe wie z. B. Rh bzw. Ru in Frage.

Die Reflektorschichten von Spinreflektoren brauchen im Grunde nur so dick zu sein, daß sie die magnetischen Schichten des Magnetschichtsystems vollständig bedecken. Diese Forderung ist zu erfüllen, wenn sie dicker als 0,15 nm sind. Darüber hinaus sollen diese nicht zum GMR-Signal bei tragenden Schichten möglichst dünn sein. Schichtdicken über 1 nm sind deshalb im allgemeinen weniger geeignet. Wird die Streufunktion auch von dieser Schicht übernommen, dann

gilt noch zusätzlich die Überlegung, daß das Produkt  $|\rho| \cdot d$  genügend hoch sein muß.

Weitere Materialsysteme, die für spinabhängig reflektierende Reflektoren in Frage kommen, sind spezielle Halbm-  
 5 talle mit magnetischen Eigenschaften. Ein entsprechendes Beispiel sind die sogenannten Heusler-Legierungen, welche  
 Legierungen auf Basis des Stoffsystems Mn-Al darstellen. Ferner sind auch Perowskite geeignet, die halbleitende Eigen-  
 10 schaften für nur einen der Spinkanäle aufweisen. Vom Spinkanal mit den halbleitenden Eigenschaften werden dann die  
 Elektronen reflektiert, während die Elektronen mit vorbestimmter Spinpolarität von dem anderen Kanal weitgehend  
 durchgelassen werden. D.h., für diesen (anderen) Spinkanal ist das Material elektrisch leitend. Im Prinzip gibt es Berei-  
 che mit unterschiedlicher Orientierung der magnetischen Momente. Zur einheitlichen Ausrichtung dieser Bereiche sollte  
 das magnetische Halbmetall-Perowskit austauschgekoppelt werden mit einer Schicht oder mit einem Schichtsystem mit  
 15 uniformer Magnetisierung und hartmagnetischen Eigenschaften. CoPt, CoFeTb und künstliche antiferromagnetische Sys-  
 teme sind deshalb geeignet. Aus diesem Grunde werden die magnetischen Halbm-  
 etalle vorzugsweise als Spinreflektoren für hartmagnetische Subsysteme vorgesehen.

Die die Elektronen streuenden Schichten brauchen nicht spinspektiv sein, so daß die Wahlfreiheit für das Material  
 verhältnismäßig groß ist. Zur Verbesserung der Streufunktion können statt einzelner Schichten auch Schichtstapel mit  
 15 vielen streuenden Grenzflächen vorgesehen werden.

#### Patentansprüche

1. Dünnschichtenaufbau eines magnetfeldempfindlichen Sensors mit einem magnetoresistiven Mehrschichtensystem, das einen erhöhten magnetoresistiven Effekt mit einer Spinabhängigkeit der Elektronenstreuung von Majoritäts- und Minoritätselektronen zeigt und zumindest  
 20 eine weichmagnetische Meßschicht,  
 – ein vergleichsweise magnetisch härteres Biasschichtsystem sowie  
 – eine zwischen der wenigstens einen Meßschicht und dem wenigstens einem Biasschichtsystem befindliche Entkopplungsschicht  
 25 aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß das wenigstens eine Biasschichtsystem (16) mindestens einen bezüglich der Elektronen spinabhängig reflektierenden Reflektorschichtteil enthält, welcher mindestens eine die Elektronen in Abhängigkeit von ihrem Spin reflektierende Grenzfläche sowie Bereiche besitzt, in denen eine zumindest weitgehend diffuse Streuung von nicht-reflektierten Elektronen erfolgt, wobei der Reflektorschichtteil eine spinabhängig reflektierende Reflektorschicht (22) innerhalb des wenigstens einen Biasschichtsystems (16) aufweist.
2. Aufbau nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das wenigstens eine Biasschichtsystem (16) wenigstens eine gegenüber der wenigstens einen Meßschicht (14) magnetisch härtere Biasschicht (17) aufweist, wobei der Reflektorschichtteil innerhalb der Biasschicht (17) angeordnet oder durch diese Schicht (17) selbst gebildet ist.
3. Aufbau nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (17) durch die spinabhängige Reflektorschicht (22) in zwei parallele Biasschichtteile (17a, 17b) unterteilt ist.
4. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil durch eine einzige Schicht (22) gebildet ist.
5. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem wenigstens einen Biasschichtsystem (16) ein künstlicher Antiferromagnet gebildet ist.
6. Aufbau nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Biasschicht des künstlichen Antiferromagneten mindestens einen spinabhängig reflektierenden und/oder Elektronen streuenden Schichtteil enthält.
7. Aufbau nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereiche diffuser Streuung zumindest mit einem dem künstlichen Antiferromagneten (18) zugewandten Biasschichtteil (17a) und gegebenenfalls zusätzlich mit  
 45 Teilen des künstlichen Antiferromagneten gebildet sind.
8. Aufbau nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß an das Mehrschichtensystem (12) auf seiner dem Schichtteil (18) des künstlichen Antiferromagneten abgewandten Seite ein weiterer Reflektorschichtteil (5, 6) mit elektronenreflektierenden Eigenschaften angeordnet ist.
9. Aufbau nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Reflektorschichtteil (5, 6) ebenfalls spinabhängig reflektierend ist.
10. Aufbau nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Reflektorschichtteil aus mehreren Schichten (5, 6) zusammengesetzt ist.
11. Aufbau nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil (7, 30, 31, 33, 34) eine im wesentlichen die wenigstens eine Grenzfläche enthaltende reflektierende Schicht (5) und eine im wesentlichen die Streubereiche enthaltende Schicht (6) aufweist.
12. Aufbau nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der spinabhängig reflektierende Reflektorschichtteil an seiner von dem Mehrschichtensystem (12) abgewandten Seite wenigstens eine Elektronenstreuungsschicht (6) aufweist.
13. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zu einer Reflexion von Minoritätselektronen für die spinabhängig reflektierenden Reflektorschicht (22) zumindest als Hauptbestandteil wenigstens seines reflektierenden Teils ein Material aus einem nicht-ferromagnetischen Element aus einer Gruppe des Periodensystems der Elemente gewählt ist, die eine, soweit vorhanden, im Periodensystem rechts von der Gruppe des ferromagnetischen Materials der benachbarten Schicht des Magnetschichtsystems liegende Gruppe VIII der Übergangsmetalle oder eine der Gruppe Th, Tl oder IIIa ist.
14. Aufbau nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch ein Material der spinabhängig reflektierenden Reflektorschicht (22) aus der Gruppe der Elemente Cu, Ag, Au, Al.
15. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zu einer Reflexion von Majoritätselektronen für die spinabhängig reflektierende Reflektorschicht (22) zumindest als Hauptbestandteil wenigstens sei-

nes reflektierenden Teils ein Material aus einem nichtferromagnetischem Element aus einer Gruppe des Periodensystems der Elemente gewählt ist, die eine im Periodensystem links von der Gruppe des ferromagnetischen Materials der benachbarten Schicht des Magnetschichtsystems liegende Gruppe IV bis VIII der Übergangsmetalle ist.

16. Aufbau nach Anspruch 15, gekennzeichnet durch Mn oder Cr oder V oder Ti als Material der spinabhängig reflektierenden Reflektorschicht (22).

17. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß für die spinabhängig reflektierende Reflektorschicht (2) als Material ein Halbmetall gewählt ist.

18. Aufbau nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß für die spinabhängig reflektierende Reflektorschicht (22) ein Material mit Perowskit-Kristallstruktur gewählt ist, das halbleitende Eigenschaften nur für die Majoritätselektronen oder nur für die Minoritätselektronen aufweist, während es für Elektronen des jeweils anderen Typs elektrisch leitend ist.

19. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die spinabhängig reflektierende Reflektorschicht (22) aus einer Heuslerschen Mn-Al-Legierung besteht.

20. Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 19, gekennzeichnet durch eine Schichtdicke ( $d_s$ ) der spinabhängig reflektierenden Reflektorschicht (22) zwischen 0,15 und 1 nm.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



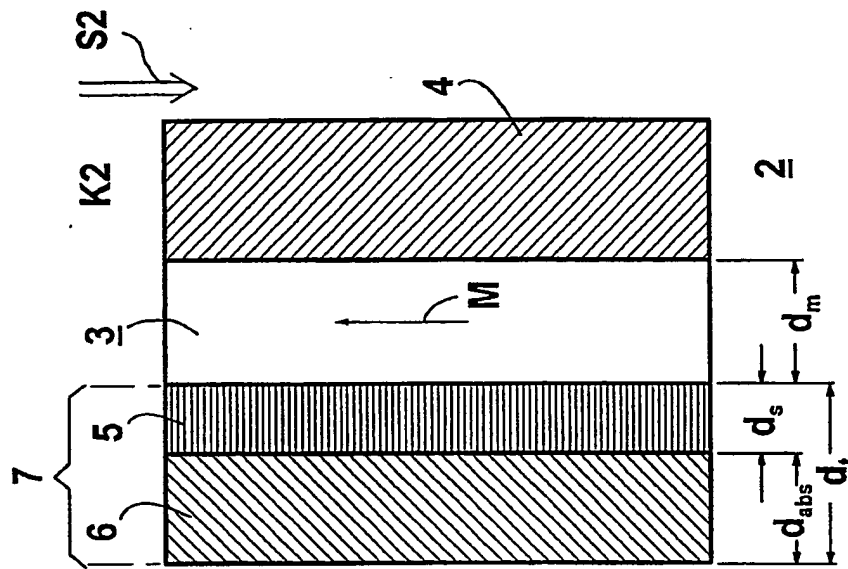


FIG 2

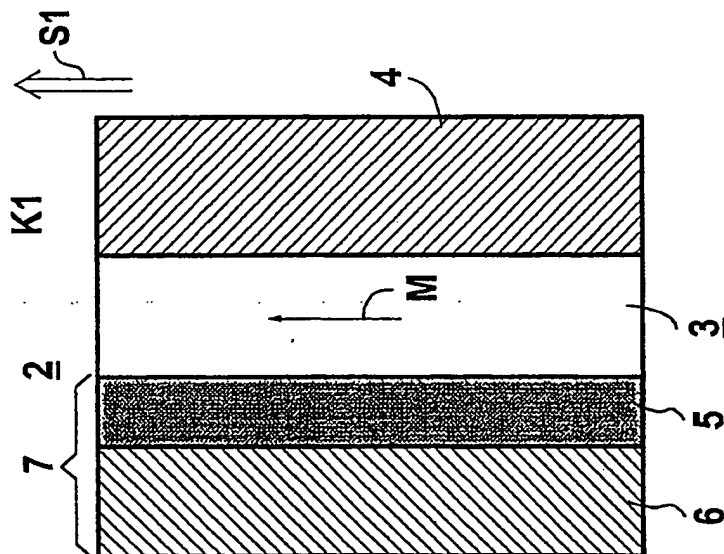


FIG 1

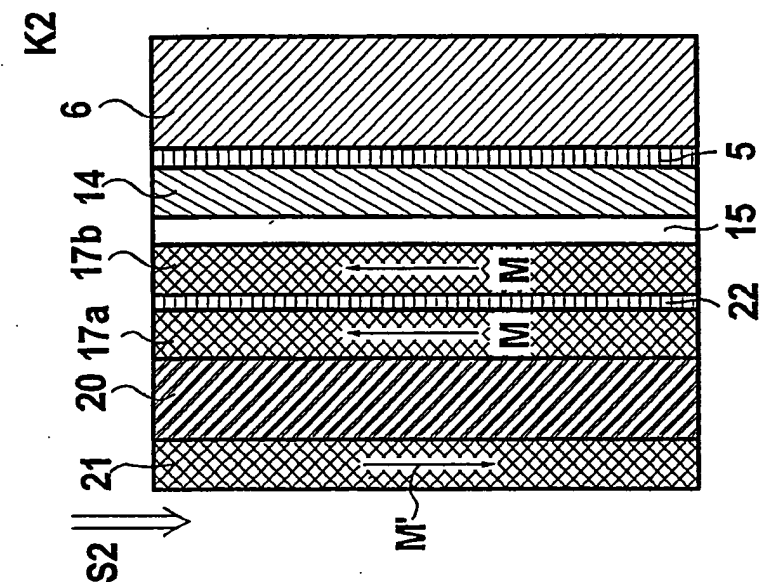


FIG 4

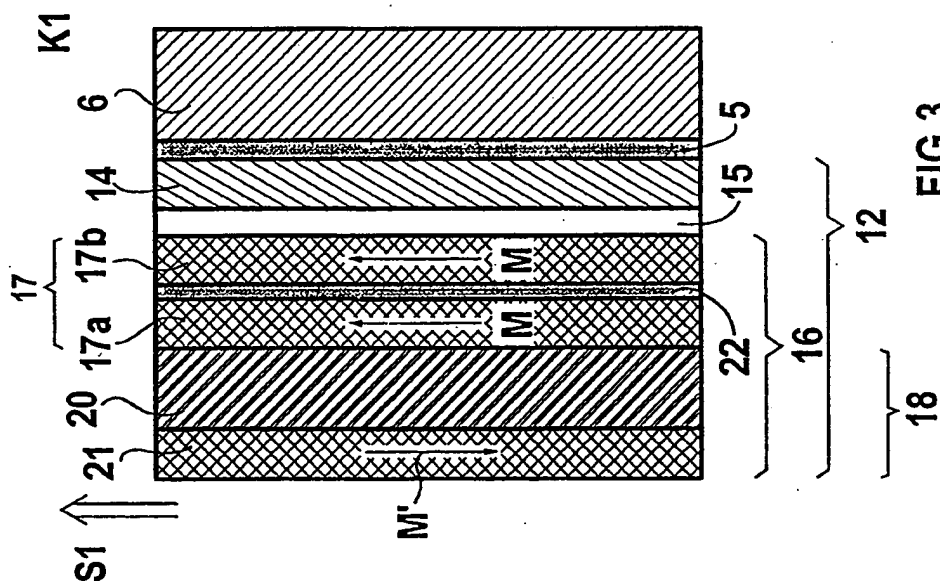


FIG 3

